

зменшення перепаду тиску по трасі газопроводу до і після очистки. Так абсолютний тиск на виході з Червонодонецької ДКС (т.1) і на вході в Хрестищенську ДКС (т.7) до очистки був 2,15 і 1,39 МПа відповідно ( $\Delta=0,76$  МПа), а після очистки в цих же точках вимірювання 1,857 і 1,285 МПа ( $\Delta=0,572$  МПа).

Для зниження робочого тиску до 0,6 МПа в системі збору газу на Шебелинському ГРП і на вході в ДКС Хрестище і збільшення видобутку газу з газоконденсатних родовищ, які працюють в цю газозбірну систему потрібно звільнити газопроводи від забруднень, що дасть можливість знизити тиск до потрібного. Для успішного виконання цієї задачі потрібно довести коефіцієнт гідравлічної ефективності до максимального, тобто на ділянці від Червонодонецької ДКС до Хрестищенської ДКС методом швидкісних потоків, а на ділянці від крану на 59 км, де встановлена камера запуску очисних пристроїв до Диканської КС провести очистку поршнем.

1.Капцов И.И. Сокращение потерь газа на магистральных газопроводах. – М.: Недра, 1988. – 160 с.

2.А.с. 1224023, МКИ В08В9/06. Способ очистки газопровода / В.С.Бурных, Р.В.Козак, И.И.Капцов, И.А.Дутчак / (СССР). №3714377/12. Заявл. 23.03.84, Опубл. 15.04.86. Бюл. №14, 1986. – 39 с.

3.А.с. 830688, МКИ В01Д45/12. Устройство для очистки природного и попутного газа от жидких и твердых включений / В.С.Бурных, В.А.Слесарев, И.И.Сорока, Н.К.Евтушенко / (СССР). №2874655/26. Заявл. 23.01.80, Опубл. 23.10.85. Бюл. №39, 1985.

4.Капцов И.И. Основные разработки УкрНИИгаза по повышению эффективности и надежности работы магистральных газопроводов // Питання розвитку Газової промисловості України. Вип. XXVII (ювілейний – до 40-річчя УкрНДІгазу). – Харків, 1999. – С.92-95.

*Отримано 19.09.2008*

УДК 681.3.06 : 681.518.54 : 621.51

Б.С.ИЛЬЧЕНКО, д-р техн. наук, В.Б.ИЗМАЛКОВ

*Харьковская национальная академия городского хозяйства*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ НАГНЕТАТЕЛЕЙ ПО СЕРИИ ИЗМЕРЕНИЙ НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИИ ШТАТНЫХ ДАТЧИКОВ ЦЕХОВОЙ АВТОМАТИКИ**

Рассматривается задача определения функционально-технического состояния центробежных нагнетателей в условиях штатной эксплуатации компрессорного цеха. Описан метод нахождения их функциональных характеристик на основе определения расчетных сведенных характеристик нагнетателей для разных видов наиболее вероятных дефектов проточной части и их режимных параметров для каждого измерения цеховых данных. Выполнен анализ достоверности определения функциональных характеристик.

Оборудование компрессорных станций магистральных газопроводов Украины в настоящий момент приближается к стадии выработки установленного ресурса. Больше 50% эксплуатируемых в Украине газоперекачивающих агрегатов (ГПА) отработали свой ресурс. При таких длительных сроках эксплуатации ГПА их фактическое функционально-техническое состояние, как правило, существенным образом отличается от начального. Это обстоятельство определяет возрастание потребления газа на собственные нужды до 4,5-5 млрд.м<sup>3</sup> в год или до 2,5- 3,5% от общего объема транспорта газа. Для эффективного управления такой газотранспортной системой необходима информация о фактическом функционально-техническом состоянии (ФТС) каждого агрегата парка ГПА ДК “Укртрансгаз”. Фактическое ФТС центробежных нагнетателей (ЦБН) характеризуется на определенный момент времени значениями фактических характеристик. В нашем исследовании предлагается использовать следующие фактические характеристики: приведенной степени сжатия, политропного КПД, приведенной относительной внутренней мощности нагнетателя в функции от приведенной объемной производительности.

В настоящее время по большинству компрессорных цехов (КЦ) фиксируются цеховые данные о давлении и температуре газа на входе и выходе КЦ, средние по цеху частоты вращения ЦБН, данные о плотности газа и об атмосферных условиях. Информация об измеренных объемах перекачиваемого газа по каждому агрегату и по цеху отсутствует. Задача оценки ФТС ЦБН по цеховым данным, включающая информацию о работающих агрегатах, ранее не рассматривалась [1, 2]. В данной работе авторами предлагается метод определения ФТС ЦБН, заключающийся в том, чтобы по совокупности цеховых данных для разных комбинаций работающих ЦБН на определенном временном интервале установить их индивидуальные функциональные характеристики.

Необходимо определить ФТС ЦБН КЦ на основе совокупности измерений приборов цеховой автоматики при выполнении следующих условий и ограничений:

- потери давления газа во входном и выходном коллекторах КЦ по каждому ЦБН одинаковы или известны;
- ЦБН включены параллельно;
- температура газа на выходе КЦ при параллельной схеме включения ЦБН определяется в соответствии с формулой

$$T_{вых} = \sum_{i=1}^{Nr} T_{вых i} \cdot Q_{ком i} / \sum_{i=1}^{Nr} Q_{ком i} , \quad (1)$$

где  $T_{вых\ i}$  – расчётная температура газа на выходе  $i$ -го работающего ЦБН (К);  $Q_{ком\ i}$  – расчётная коммерческая производительность  $i$ -го работающего ЦБН (млн. м<sup>3</sup>/сут.);  $N_r$  – число включенных в работу ЦБН;

– изменение величин дефектов проточной части ЦБН в функции времени на оцениваемом временном интервале линейно или экспоненциально;

– обобщенный цеховой дефект с достаточной точностью может быть представлен в виде линейной комбинации дефектов ЦБН. Под обобщенным цеховым дефектом понимается характеристика средней по цеху степени изношенности проточных частей ЦБН, которая определяется по измерениям параметров цеховой автоматики в соответствии с теми же формульными зависимостями (политропным методом Шульца), что и обобщенный нормированный дефект отдельного ЦБН [3];

– количество комбинаций одновременно включаемых в работу ЦБН на временном интервале должно быть достаточным для нахождения оценок ФТС всех работающих на этом интервале ЦБН методом наименьших квадратов или другим методом математической статистики.

Входной информацией для определения фактических характеристик есть совокупность векторов измерения  $\{X_i\}$ ,  $i = \overline{1, NL}$  параметров цеха. Каждый вектор содержит следующие измеряемые параметры:  $T_{вх\ i}, T_{вых\ i}$  – температуру газа на входе и выходе КЦ (К);  $P_{вх\ i}$ ,  $P_{вых\ i}$  – давление газа на входе и выходе (избыточное) КЦ (МПа);  $n_i$  – среднюю частоту вращения ЦБН по цеху (об./мин.);  $P_{a\ i}$  – атмосферное давление (МПа);  $\rho_i$  – плотность компримируемого газа (кг/м<sup>3</sup>); станционные номера работающих агрегатов.

Необходимо также оценить достоверность метода

Эта задача решается на основе определения обобщенного нормированного дефекта, определяемого по агрегатным данным [3, 4]. В соответствии с [4] в рассмотрение вводятся множества расчётных характеристик и обобщенных нормированных дефектов  $\{D_j\}$ ,  $j = \overline{1, ND}$ .

На первом этапе для каждого вида обобщенного дефекта  $D_j$ , ( $j = \overline{1, ND}$ ) и каждого ЦБН по всей серии измерений цеховых данных  $\{X_i\}$   $i = \overline{1, NI}$  определяются функции изменения обобщенного дефекта  $\{D_{j,k,i}\}$ ,  $k = \overline{1, NK}$ , минимизирующие функционал:

$$F_1(\{D_{j,k,i}\}) = \frac{1}{NI} \sum_{i=1}^{NI} (T_{вых,i}^{KII\ r}(D_{j,k,i}) - T_{вых,i}^{KII})^2 = \min, \text{ по } D_{j,k,i}, \quad (2)$$

где  $k$  – номер работающего ЦБН;  $NK$  – количество ЦБН, которые работали при проведении серии измерений цеховых данных в КЦ;  $T_{вых,i}^{KII\ r}(D_{j,k,i})$  – расчетное значение температуры газа на выходе КЦ;  $T_{вых,i}^{KII}$  – измеренное значение температуры газа на выходе КЦ (до обдувания воздушного охлаждения газа).

В данном исследовании изменения обобщенных дефектов  $D_{j,k,i}$   $k$ -го ЦБН от времени его наработки, отсчитываемого от начала серии  $t_{k,i}$ , рассматриваются в виде линейных функций

$$D_{j,k,i}(t_{k,i}) = D_{j,k}^0 + D_{j,k}' \cdot t_{k,i}, \quad (3)$$

где  $D_{j,k}^0$  – значения обобщенного дефекта  $j$ -го вида  $k$ -го ЦБН перед началом серии испытаний;  $D_{j,k}'$  – коэффициенты, которые определяют увеличение обобщенного дефекта в функции времени наработки.

Принципиально возможен любой другой выбор вида функций изменения обобщенного дефекта от времени наработки. Описываемый метод не накладывает ограничений на вид функций  $D_{j,k,i}(t_{k,i})$ .

На втором этапе выбирается вид обобщенного дефекта  $D_s^*$  из условия

$$F_1(D_{s,k,i}^*) \leq F_1(D_{j,k,i}) \text{ для } s \neq l \text{ и } j = 1, 2, \dots, s-1, s+1, \dots, ND, \quad (4)$$

и определяются фактические характеристики всех ЦБН, которые включались в работу при проведении этой серии цеховых измерений.

Процедура минимизации функционала  $F_l(D_{j,k,i})$  на первом этапе решения задачи одинакова для всех видов обобщенных дефектов. Поэтому, при следующем описании метода опущен индекс  $j$ , который определяет вид обобщенного дефекта.

Расчетное значение температуры газа во входном коллекторе компрессорного цеха рассчитывается для каждого цехового измерения на основе уравнения баланса температур

$$T_{вых,i}^{KII\ r} = \frac{\sum_{k=1}^{NK} Q_{k,i}^r(D_{k,i}, X_i) \cdot T_{k,i}^r(D_{k,i}, X_i)}{\sum_{k=1}^{NK} Q_{k,i}^r(D_{k,i}, X_i)}, \quad (5)$$

где  $Q_{k,i}^r(D_{k,i}, X_i)$  – расчетное значение коммерческой производительности  $k$ -го ЦБН по  $i$ -му вектору цеховых данных  $X_i$ ;  $T_{k,i}^r(D_{k,i}, X_i)$  – расчетное значение температуры газа на выходе  $k$ -го ЦБН.

В случае, если при проведении  $i$ -го измерения  $k$ -й ЦБН не работал,  $Q_{k,i}^r(D_{k,i}, X_i) = 0$ ,  $T_{k,i}^r(D_{k,i}, X_i) = 0$ .

Определение оптимальных функций обобщенных дефектов ЦБН, минимизирующих функционал (2), предлагается находить методом последовательных приближений.

Вычисляется коэффициент линеаризации функции  $T_{вых,i}^r$  по определяемым параметрам функций обобщенных дефектов  $(\{D_k^0\}, \{D_k^t\})$  для  $k = \overline{1, NK}$  в области значений  $Q_{k,i}^r$  и  $D_{k,i}$  предыдущего приближения.

Функция  $T_{вых,i,s}^r$   $s$ -го приближения для линейной функции обобщенных дефектов имеет вид:

$$T_{вых,i,s}^{KЦП} = T_{вых,i,s-1}^{KЦП} + \sum_{k=1}^{NK} \left( \frac{\partial T_{вых,i}^r}{\partial D_k^0} D_k^0 \right)_s + \sum_{k=1}^{NK} \left( \frac{\partial T_{вых,i}^r}{\partial D_k^t} \cdot t_{k,i} \right)_s \cdot D_k^t. \quad (6)$$

Затем решается система уравнений

$$\begin{cases} \frac{\partial F(D_{k,i})}{\partial D_k^t} = 0 \\ \frac{\partial F(D_{k,i})}{\partial D_k^0} = 0 \end{cases} \quad (7)$$

для всех  $k = \overline{1, NK}$  и находятся уточненные значения обобщенных дефектов.

Процесс уточнения параметров дефектов завершается в случае, когда величины отклонений всех параметров  $s$ -1-го приближения от  $s$ -го не превышают заданную погрешность решения задачи.

В качестве начального приближения значений обобщенных дефектов можно использовать результаты решения задачи в упрощенной постановке на основе следующего предположения. Агрегатные обобщенные дефекты обладают в рамках цеха свойством аддитивности. Дефект, вычисленный по цеховым данным  $i$ -го измерения ( $D_i^r$ ), равен, с точностью до методических и инструментальных погрешностей расчетов  $i$ -го измерения ( $\delta_i$ ), среднему арифметическому агре-

гатных обобщенных дефектов  $D_{k,i}$ , рассчитанных по этому же измерению:

$$D_i^r = \sum_{k=1}^{NK} a_{k,i} \cdot D_{k,i} + \delta_i, \quad (8)$$

где  $a_{k,i} = \frac{1}{n_{r,i}}$  – если при проведении  $i$ -го измерения  $k$ -й ЦБН работал

( $n_{r,i}$  – общее количество работающих ЦБН при проведении  $i$ -го измерения), в противном случае  $a_{k,i} = 0$ .

Агрегатные обобщенные дефекты при проведении серии из  $NI$  измерений определяются из минимума дисперсии отклонений рассчитанных дефектов:

$$F_u(D_{k,i}) = \frac{1}{N_i} \sum_{i=1}^{NI} (\delta_i)^2 = \frac{1}{N_i} \sum_{i=1}^{NI} (D_i^r - \sum_{k=1}^{NK} a_{k,i} \cdot D_{k,i})^2 = \min, \quad (9)$$

где  $D_{k,i}$  – значения обобщенного дефекта  $k$ -го ЦБН на  $i$ -м измерении.

При этом агрегатные обобщенные дефекты определяются только для тех ЦБН, которые работали хотя бы один раз во время проведения серии измерений.

Значение  $D_i^r$  вычисляется по цеховым данным  $i$ -го измерения на основе расчетных характеристик в соответствии с [4]

$$\begin{cases} \varepsilon_{np}(X_i) = \varepsilon_{np}^p(Q_{np i}, D_i^r) \\ \eta_{пол}(X_i) = \eta_{пол}^p(Q_{np i}, D_i^r) \end{cases}. \quad (10)$$

Выбор вида функции изменения  $D_{k,i}$ , как отмечалось выше, зависит от продолжительности анализируемой серии измерений. Предполагается, что после проведения обработки цеховых измерений данных нескольких серий, полученные результаты по каждому ЦБН необходимо описать интерполяционной функцией. Ниже приведены формулы для определения линейных функций  $D_{k,i}$  от времени обработки, минимизирующих функционал (9).

Необходимые значения  $\{D_k^0\}$  и  $\{D_k^t\}$ ,  $k = \overline{1, NK}$  определяются из решения системы уравнений

$$\begin{cases} \frac{\partial F_u}{\partial D_k^0} = 0 \\ \frac{\partial F_u}{\partial D_k^t} = 0 \end{cases}. \quad (11)$$

Вычисленные значения  $\{D_k^0\}$  и  $\{D_k^t\}$ ,  $k = \overline{1, NK}$  проверяются на выполнение следующих условий для всех  $NK$  ЦБН:

$$D_{\min, k} \leq D_k < D_{\max, k}, \quad (12)$$

$$D_k^t \geq 0, \quad (13)$$

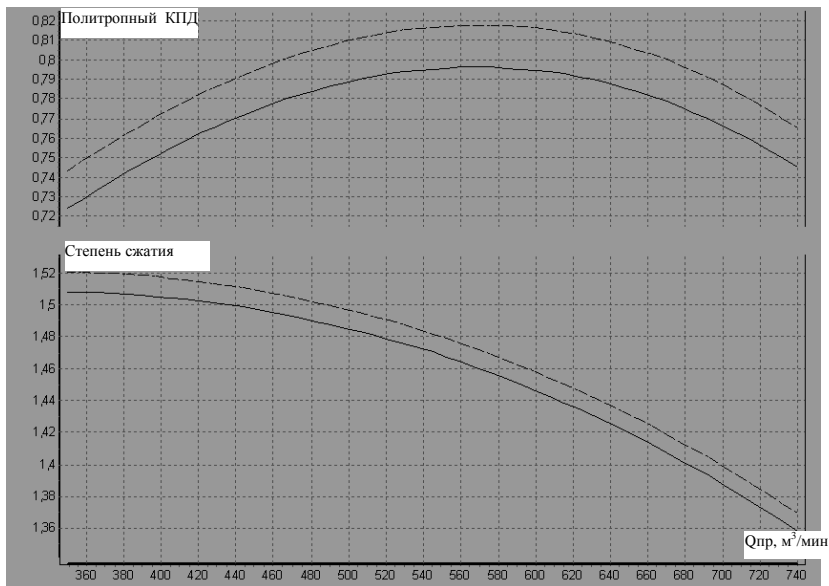
$$D_k^0 + D_k^t \cdot t_{k, Ni} < D_{\max, k}, \quad (14)$$

где  $D_{\min, k}$ ,  $D_{\max, k}$  – параметры, определяющие диапазон возможного изменения по  $k$ -му ЦБН.

Задача определения обобщенных дефектов  $D_{k,i}$ , минимизирующих функционал (9), считается решенной, если после очередного вычисления  $\{D_k^0\}$  и  $\{D_k^t\}$ ,  $k = \overline{1, NK}$  условия (12)-(14) выполнены по всем  $NK$  ЦБН.

Завершающей операцией определения индивидуальных оценок ФТС ЦБН является аппроксимация значений обобщенных дефектов по каждому ЦБН по всем сериям измерений. Значения обобщенного дефекта устанавливается по аппроксимирующей прямой (кривой) на момент окончания последней серии измерений. Фактические приведенные характеристики ЦБН определяются в соответствии с (11). Характеристика приведенной относительной внутренней мощности ЦБН рассчитывается в соответствии с [2].

Разработанный метод определения агрегатных характеристик по информации цеховой автоматики использован при создании и периодическом обновлении программного комплекса «Атлас фактических характеристик ЦБН», эксплуатируемых в ДК «Укртрансгаз». На основании разработанного метода по суточным цеховым данным за период 01.01.2004г. - 30.09.2006г. рассчитаны функциональные характеристики по большинству типов эксплуатируемых ЦБН. В качестве примера, на рисунке ниже приведены графики степени сжатия (при номинальной частоте вращения) и политропного КПД характеристик для ЦБН №1 КС «Иллины», рассчитанных по цеховым данным за период 15.01.2005г. - 31.01.2006г. Пунктирной линией нарисованы паспортные характеристики, а сплошной – фактические.



Характеристики степени сжатия и политропного КПД для ЦБН №1

Для оценки достоверности предложенного метода проведены численные расчёты обобщённых дефектов по данным цеховой и агрегатной автоматики по КС «Иллинцы» за период 15.01.2005г. - 31.01.2006г. Результаты расчётов приведены в таблице.

Обобщенные дефекты, рассчитанные на основе агрегатных и цеховых данных

Цеховые данные			Агрегатные данные		
№ ЦБН	обобщенный дефект начальный	обобщенный дефект конечный	№ ЦБН	обобщенный дефект начальный	обобщенный дефект конечный
1	0,301	0,44	1	0,28	0,434
2	0,23	0,556	2	0,252	0,511
3	0,27	0,667	3	0,243	0,73

Из таблицы следует, что максимальное относительное отклонение между обобщёнными дефектами, рассчитанными на основе цеховых по отношению к агрегатным данным, не превышает 10%. Относительное отклонение между найденными по этим двум группам дефектов характеристик не превышает 2% по степени сжатия и 0,5% по политропному КПД. Следует отметить, что чем больше выборка цеховых данных, тем выше достоверность определения обобщённого дефекта.



Таким образом, разработан метод оценки ФТС ЦБН по информации цеховой автоматики для параллельной схемы включения ЦБН. Предусматривается вычисление среднего по цеху обобщенного дефекта по каждому вектору-измерению цеховых параметров, статистическая обработка результатов вычисления по серии измерений и "расщепление" сглаженного среднего дефекта на индивидуальные.

Проведена оценка достоверности предложенного метода.

Метод реализован в программном комплексе «Атлас фактических характеристик ЦБН», эксплуатируемом в ДК «Укртрансгаз».

1.Зарицкий С.П. Факторный анализ в социальных исследованиях. – М., 1996. 352 с.

2.Методические указания по проведению теплотехнических и газодинамических расчетов при испытаниях газотурбинных газоперекачивающих агрегатов. – М.: ВНИИГАЗ, 1999. – 51 с.

3.Беккер М.В., Ильченко Б.С та ін. Метод визначення параметрів фактичного режиму та показників технічного стану ВЦН ГПА в умовах неповноти та невірності вхідної інформації. // Нафтова і газова промисловість. – 2002. – №3. – С.104-106.

4.Ильченко Б.С. Определение фактического функционально-технического состояния центробежных нагнетателей газоперекачивающих агрегатов ДК "Укртрансгаз" по данным штатных измерений // Проблемы машиностроения. – 2003. – Т.6, №1. – С.58-65.

*Получено 10.09.2008*

УДК 662.767

И.Е.БЕРЕЗНЯК, С.М.НУБАРАН

*Харьковская национальная академия городского хозяйства*

## **УЧЕТ ПРИРОДНОГО ГАЗА С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ТЕРМОДИНАМИКИ**

Рассматривается влияние некоторых термодинамических свойств газов на учет газа в газораспределительных сетях.

Актуальными в области энергоучета и энергосбережения есть и остаются вопросы учета природного газа, его экономного и рационального использования. Рассмотрению этого вопроса посвящено множество исследований, однако большинство касается разработки комплекса технических средств и организационных мероприятий, которые направлены на улучшение контроля за использованием природного газа, уменьшение его технологических потерь в распределительных газопроводах и усовершенствование учета газа.

Известно, что необходимый учет и измерение расхода газа не могут быть реализованы без метрологического обеспечения, которое предусматривает наличие соответствующих измерительных средств и нормативных документов по учету, использованию, сочетанию и передаче информации от средств измерения.